

Attorney's Docket No. 033275-225

(7/01)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 27 842.6

Anmeldetag: 5. Juni 2000

Anmelder/Inhaber: ALSTOM Power N.V., Amsterdam/NL

Bezeichnung: Verfahren zum Kühlen einer Gasturbinenanlage so-
wie Gasturbinenanlage zur Durchführung des Verfah-
rens

IPC: F 02 C, F 01 D

Bemerkung: Die Anmelderin firmierte bei Einreichung dieser Pa-
tentanmeldung unter der Bezeichnung:
ABB ALSTOM POWER N.V.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Juli 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

A 9161
03/00
EDV-L

Agurke

BEST AVAILABLE COPY

BESCHREIBUNG

VERFAHREN ZUM KÜHLEN EINER GASTURBINENANLAGE SOWIE GASTURBINENANLAGE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Gasturbinen. Sie betrifft ein Verfahren zum Kühlen einer Gasturbine gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Gasturbinenanlage gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 13 zur Durchführung des Verfahrens.

Ein solches Verfahren und eine solche Gasturbinenanlage sind z. B. aus der Druckschrift US-A-5,611,197 bekannt.

STAND DER TECHNIK

Bestehende Gasturbinen (Gasturbinenanlagen) verwenden zur Kühlung der heissen Teile, besonders der Brennkammer und der vom Heissgas durchströmten Turbine entweder Kühlfluide, die dem Verdichter (Kompressor) bei passendem Druck entnommen, manchmal auch noch nachgekühlt werden, und nach erfolgter Kühlung der heissen Teile der Turbinenströmung beigegeben werden, oder geschlossene Kühlkreisläufe, die von einer fremden Kühlfluidquelle, meistens mit Wasser-

Diese bekannte Art des geschlossenen Kühlkreislaufes hat hinsichtlich Einfachheit von Aufbau und Betrieb und Beeinflussung des Gesamtwirkungsgrades gegenüber den weiter oben beschriebenen Kühlungsarten erhebliche Vorteile. Nachteilig

ist jedoch, dass - gerade auch im Bezug auf die Turbinenschaufeln - eine Filmkühlung der dem Heissgas ausgesetzten Bauteiloberflächen mit diesem hermetisch geschlossenen Kühlkreislauf nicht ohne weiteres möglich ist. Es muss daher entweder auf eine Filmkühlung verzichtet werden - was die Belastbarkeit der Bauteile und damit letztendlich den Wirkungsgrad verringert, oder es muss für die Filmkühlung ein separater Kühlkreis vorgesehen werden, der die Komplexität der Anlage und damit deren Störanfälligkeit erhöht.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Kühlverfahren für eine Gasturbinenanlage sowie eine Gasturbinenanlage zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, welche die Nachteile bekannter Verfahren bzw. Gasturbinenanlagen vermeidet und sich insbesondere durch eine hohe Kühleffektivität bei gleichzeitig einfachem Aufbau und Betrieb und hohem Gesamtwirkungsgrad der Anlage auszeichnet.

Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 13 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, von einem den Verdichter mit einbeziehenden, geschlossenen Kühlluftkreislauf ausgehend an dem gekühlten Bauteil nach Art einer gezielten Leckage einen kleinen Teil der Kühlluft abzuzweigen und durch entsprechende Filmkühlbohrungen nach aussen abzugeben, um ohne wesentliche Beeinträchtigung des Wirkungsgrades eine wirksame Filmkühlung auf der heissgasbelasteten Aussenfläche des Bauteils zu ermöglichen.

Bevorzugt umfassen die mittels der Kühlluft gekühlten, thermisch belasteten Bauteile die Wände der Brennkammer und/oder Gehäuseteile der Turbine und/oder Rotorteile der Turbine und/oder Schaufeln der Turbine.

Eine bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schaufeln der Turbine mittels der Kühlluft gekühlt werden, und dass die Filmkühlbohrungen an den Schaufeleintrittskanten und/oder

den Schaufelaustrittskanten angeordnet sind. Hierdurch werden mit einem geringen Verlust an Kühlluft die besonders stark belasteten Kanten der Schaufeln wirksam filmgekühlt.

Besonders einfach wird das Verfahren, wenn gemäss einer anderen Ausführungsform die Turbine eine Mehrzahl von Schaufelreihen umfasst, und die Schaufelreihen nacheinander von der Kühlluft durchströmt werden.

Die Kühlluft erleidet beim Kühlvorgang einen Druckverlust, der vor dem Rückführen der Kühlluft durch Komprimieren wieder ausgeglichen werden muss. Dies kann mit besonders wenig Aufwand geschehen, wenn gemäss einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens zum Verdichten der Kühlluft nach dem Kühlvorgang der Verdichter der Gasturbinenanlage selbst verwendet wird, d.h., wenn die Kühlluft auf einer mittleren Druckstufe in den Verdichter eingespiessen wird.

Alternativ dazu kann aber auch zum Verdichten der Kühlluft nach dem Kühlvorgang ein externer Verdichter verwendet werden. Wird dann die Kühlluft mittels des externen Verdichters auf den Druck der Verdichterendluft verdichtet, kann die verdichtete Kühlluft direkt der Verdichterendluft zugefügt werden.

Bevorzugt wird die Kühlluft nach dem Kühlvorgang und vor dem Verdichten abgekühlt. Durch Mischen mit der übrigen Verdichterluft kann so insbesondere die Verdichterendtemperatur abgesenkt werden. Dies erlaubt eine Steigerung des Druckverhältnisses und damit des Wirkungsgrades.

Zum Abkühlen der Kühlluft kann dabei ein Kühler verwendet werden. Es ist aber auch denkbar, dass zum Abkühlen der Kühlluft Wasser direkt in die Kühlluft eingespritzt wird. Ebenso ist es möglich, die Kühlluft mittels eines Wärmetauschers mit der Verdichterendluft zu kühlen, wobei vorzugsweise die Kühlluft nach Durchlaufen des Wärmetauschers mittels eines anderen Kühlmediums noch weiter abgekühlt wird.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Gasturbinenanlage nach der Erfindung dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Kühlleitungen in den Verdichter auf einer mittleren Druckstufe münden. Alternativ dazu kann in den zweiten Kühlleitungen ein externer Verdichter angeordnet sein, wobei die zweiten Kühlleitungen in den Ausgang des Verdichters der Gasturbinenanlage münden.

Eine andere bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass in den zweiten Kühlleitungen ein Kühler angeordnet ist.

Weitere Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

Fig. 1 ein stark vereinfachtes Anlagenschema einer Gasturbinenanlage gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zwei alternativen Kühlkreisläufen mit Rückkühlung zur Kühlung von Schaufeln in der Turbine;

Fig. 2 den Querschnitt durch eine beispielhafte Schaufel mit Filmkühlung an der Schaufeleintrittskante und Schaufelaustrittskante, wie sie für die Verwirklichung der Erfindung geeignet ist;

Fig. 3 eine zu Fig. 1 vergleichbare Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung mit sukzessiver Kühlung mehrerer Schaufelreihen und Rekompensation der Kühlluft durch einen externen Verdichter;

- ## WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist ein stark vereinfachtes Anlagenschema einer Gasturbinenanlage gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zwei alternativen Kühlkreisläufen wiedergegeben. Die Gasturbinenanlage 10 umfasst einen (üblicherweise mehrstufigen) Verdichter 11, eine Brennkammer 12 und eine (üblicherweise mehrstufige) Turbine 13. Verdichter 11 und Turbine 13 weisen entsprechende Schaufelreihen auf, die auf einem gemeinsamen Rotor angeordnet sind. Der Verdichter 11 saugt eingangsseitig Ansaugluft 14 an, verdichtet sie und gibt sie ausgangssseitig in Form von Verdichterendluft 15 an die Brennkammer 12 ab, wo sie als Verbrennungsluft zur der Verbrennung eines (flüssigen oder gasförmigen) Brennstoffes F verwendet wird. Das bei der Verbrennung entstehende Heissgas 16 wird in der nachfolgenden Turbine 13 unter Arbeitsleistung entspannt und schliesslich als Abgas 54 an einen Kamin oder - in einem Kombikraftwerk - an einen nachgeschalteten Abhitzedampferzeuger weitergeleitet.

Anders als beim nächstkommenden Stand der Technik (siehe die eingangs genannte US-A-5,611,197) ist der Kühlkreislauf jedoch nicht vollständig geschlossen, sondern sieht eine zusätzliche Aussenkühlung in Form einer Filmkühlung vor. Am zu kühlenden Bauteil sind dazu Ausströmöffnungen (Filmkühlbohrungen) angeordnet, durch die ein kleiner Teil der zirkulierenden Kühlluft als Leckageluft 18 bzw. 21 nach aussen strömt und auf der heissgasbelasteten Aussenfläche des Bauteils einen kühlenden Film bildet. Der Anteil an Leckageluft 18, 21 ist dabei so gewählt, dass einerseits der Gesamtwirkungsgrad der Anlage nur geringfügig verringert wird, sich andererseits aber eine wirksame Filmkühlung einstellt.

Die Rückkühlung der Kühlluft mittels der Kühler 19, 22 kann gleichzeitig dazu eingesetzt werden, die Temperatur der im Verdichter 11 verdichteten Luft nach Art eines Zwischenkühlers abzusenkten. Wird die Kühlluft in den Kühlern 19, 22 wesentlich stärker rückgekühlt, als es der Wärmeaufnahme beim Kühlvorgang entspricht, kann die Verdichterendtemperatur, d.h., die Temperatur der Verdichterendluft 15 abgesenkt werden, was eine Steigerung des Druckverhältnisses und damit eine Erhöhung des Wirkungsgrades ermöglicht.

Handelt es sich bei dem zu kühlenden Bauteil um eine Schaufel bzw. eine Schaufelreihe der Turbine 13, wird die Leckageluft vorzugsweise dazu verwendet, die Schaufeleintrittskanten und/oder Schaufelaustrittskanten der Schaufel(n) durch Filmkühlung zu kühlen. Eine dazu geeignete beispielhafte Schaufel 23 ist im Querschnitt in Fig. 2 dargestellt. Die Schaufel 23 hat eine druckseitige Schaufelwand 24 und eine saugseitige Schaufelwand 25, die sich jeweils an der Schaufeleintrittskante 52 und an der Schaufelaustrittskante 53 vereinigen. Im Inneren der Schaufel 23 sind - durch Stützwände voneinander getrennt - verschiedene Kühlkanäle 26, ..., 30 angeordnet, die in Achsenrichtung der Schaufel 23 (d.h. senkrecht zur Zei-

chenebene) verlaufen und von der Kühlluft in wechselnder Richtung durchströmt werden (siehe z.B. die EP-A2-0 899 425). Von den im Bereich der Kanten 52, 53 angeordneten Kühlkanälen 28 und 30 gehen Filmkühlbohrungen 33 bzw. 34 nach aussen, durch welche die Leckageluft ausströmen und auf der Aussenseite einen Kühlfilm bilden kann (siehe z.B. auch die US-A-5,498,133). Die Kühlkanäle 28, 30 werden dabei aus den angrenzenden Kühlkanälen 27, 29 durch Verbindungskanäle 31, 32 mit Kühlluft versorgt.

Ausgehend von dem in Fig. 1 dargestellten Grundschemata der erfindungsgemässen Kühlung können im Rahmen der Erfindung verschiedene Varianten realisiert werden, die auf unterschiedliche Anwendungsfälle abgestimmt sind und ihre speziellen Vorteile aufweisen. Bei dem in Fig. 3 wiedergegebenen Ausführungsbeispiel einer Gasturbinenanlage 35 sind zwei dieser Varianten verwirklicht. Zum einen wird bei dem hier gezeigten Kühlkreislauf, der durch die Kühlleitungen 37 und 37' gebildet wird, die Kühlluft direkt aus der Verdichterendluft 15 abgezweigt und der Verdichterendluft 15 auch wieder zugefügt. Die notwendige Rekompresseion wird daher nicht im Verdichter 11 der Gasturbinenanlage 35 vorgenommen, sondern mittels eines externen Verdichters 36. Auch hier ist für die Rückkühlung vor der Rekompresseion ein Kühler 19 vorgesehen. Der Kühlkreislauf wird bei diesem Beispiel nicht nur für eine einzelne Schaufelreihe der Turbine 13 verwendet, sondern für mehrere Schaufelreihen 38, 39 und 40, die von der Kühlluft sequentiell durchströmt werden. In jeder der Schaufelreihen 38, ..., 40 strömt zur Filmkühlung der Kanten entsprechend Leckageluft in die Hauptströmung der Turbine 13 aus.

Ein anderes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Kühlung ist in Fig. 4 dargestellt. Der Kühlkreislauf der Gasturbinenanlage 41, der hier die Kühlleitungen 42 und 42' umfasst und eine (oder mehrere) Schaufelreihe(n) der Turbine 13 kühlt, benutzt zur Rückkühlung der beim Kühlvorgang erwärmten Kühlluft direkt die Verdichterendluft 15. Hierzu wird in die zweite Kühlleitung 42' ein Wärmetauscher 43 eingefügt, der (im Gegenstrom) von der Kühlluft und der Verdichterendluft 15 durchströmt wird. Reicht diese erste Rückkühlung im Wärmetauscher 43 nicht

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Gasturbinenanlage
11	Verdichter (Kompressor)
12	Brennkammer
13	Turbine
14	Ansaugluft
15	Verdichterendluft
16	Heissgas
17, 17'	Kühlleitung
18, 21	Leckageluft
19, 22, 22'	Kühler
20, 20'	Kühlleitung
23	Schaufel
24	Schaufelwand (druckseitig)
25	Schaufelwand (saugseitig)
26, ..., 30	Kühlkanal
31, 32	Verbindungskanal
33, 34	Filmkühlbohrung
35, 41, 45, 48	Gasturbinenanlage
36	Verdichter (extern)
37, 37'	Kühlleitung
38, 39, 40	Schaufelreihe
42, 42'; 46, 46'	Kühlleitung
43	Wärmetauscher
<hr/>	
44, 51	Kühler
47	Einspritzvorrichtung
49, 49'; 50, 50'	Kühlleitung
52	Schaufeleintrittskante
53	Schaufelaustrittskante
54	Abgas
F	Brennstoff

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Turbine (13) eine Mehrzahl von Schaufelreihen (38, 39, 40) umfasst, und dass die Schaufelreihen (38, 39, 40) nacheinander von der Kühlluft durchströmt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Verdichten der Kühlluft nach dem Kühlvorgang der Verdichter (11) der Gasturbinenanlage (10, 35, 41, 45, 48) selbst verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Verdichten der Kühlluft nach dem Kühlvorgang ein externer Verdichter (36) verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlluft mittels des externen Verdichters (36) auf den Druck der Verdichterendluft (15) verdichtet wird, und dass die verdichtete Kühlluft direkt der Verdichterendluft (15) zugefügt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlluft nach dem Kühlvorgang und vor dem Verdichten abgekühlt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlluft nach der Entnahme aus dem Verdichter (11) auf niedrigere Temperatur gekühlt wird, bevor sie zur Kühlung thermisch belasteter Bauteile verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 und 9, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abkühlen der Kühlluft ein Kühler (19, 22, 22', 44, 51) verwendet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abkühlen der Kühlluft Wasser direkt in die Kühlluft eingespritzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlluft mittels eines Wärmetauschers (43) mit der Verdichterendluft (15) gekühlt wird.

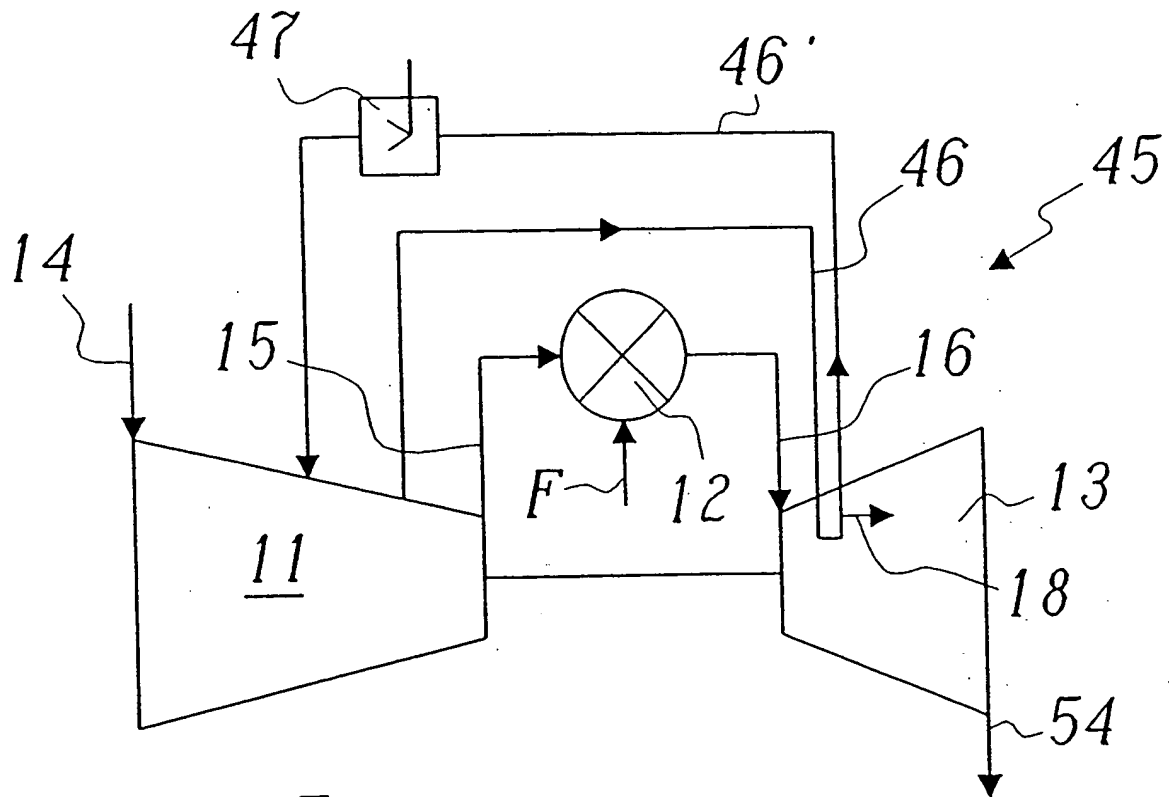


Fig. 5

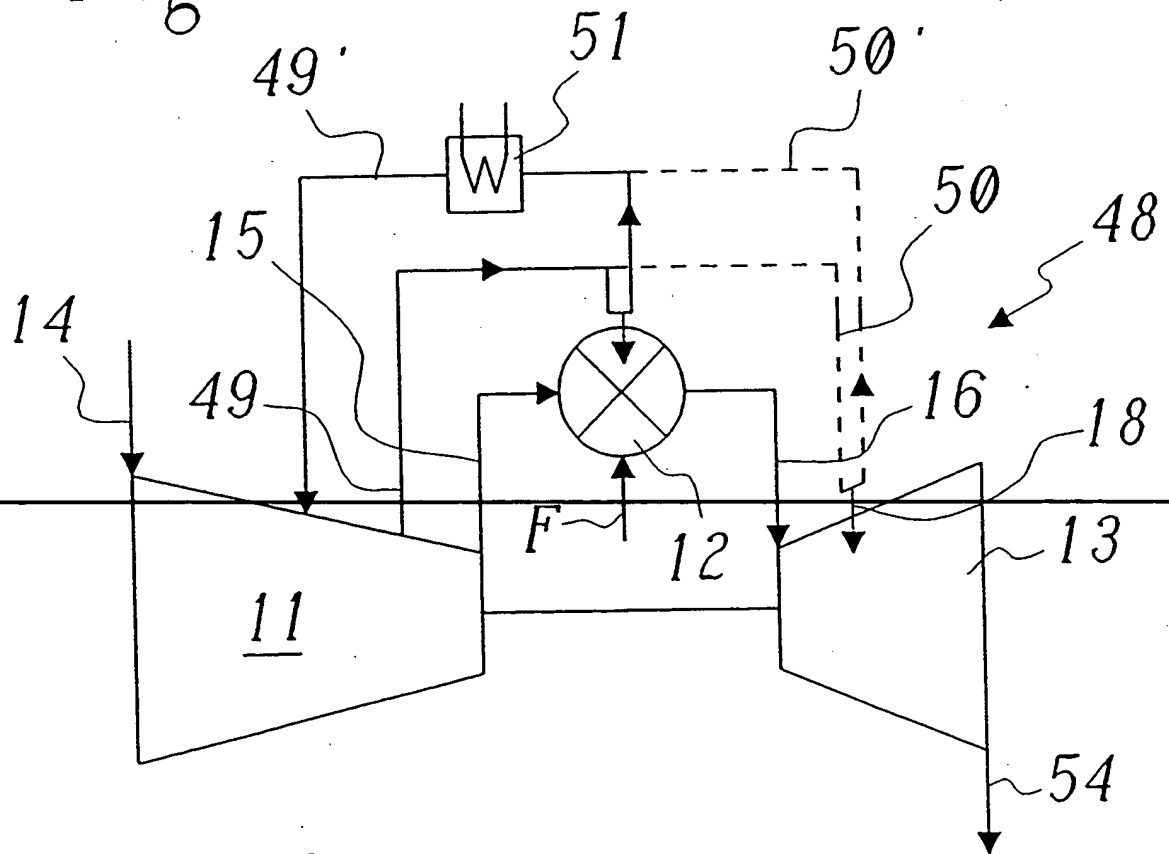


Fig. 6